

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 899 425 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.03.1999 Patentblatt 1999/09

(51) Int Cl.⁶: F01D 5/18, F02C 7/16

(21) Anmeldenummer: 98810770.2

(22) Anmeldetag: 11.08.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Endres, Wilhelm, Dr.
5453 Remetschwil (CH)
• Wettstein, Hans, Dr.
5442 Fislisbach (CH)

(30) Priorität: 01.09.1997 DE 19738065

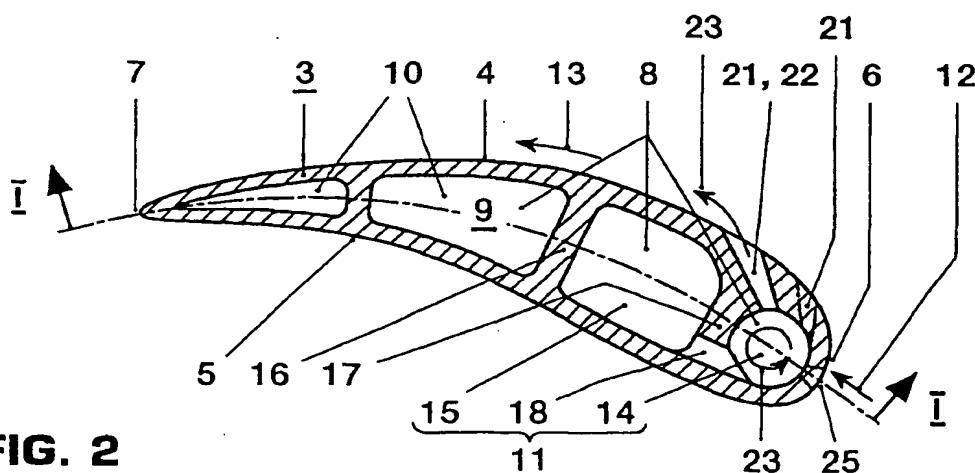
(74) Vertreter: Liebe, Rainer et al
Asea Brown Boveri AG,
Immaterialgüterrecht(TEI),
Haselstrasse 16/699 I
5401 Baden (CH)

(71) Anmelder: Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)

(54) Turbinenschaufel einer Gasturbine

(57) Kühlung einer Turbinenschaufel mittels eines geschlossenen und eines offenen Kühlsystems, dies wird dadurch erreicht, dass der Innenraum (8) des Schaufelkörpers (3), im Bereich der saugseitigen Wand (4), der druckseitigen Wand (5) und der Schaufelaus-

trittskante (7) ein geschlossenes Dampfkühlsystem (9) mit zumindest einem Kühlkanal (10, 27, 28) aufweist. Im Bereich der Schaufeleintrittskante (6) ist dagegen ein offenes Kühlsystem (11) mit zumindest einem Kühlkanal (14, 15) und mehreren den Schaufelkörper (3) durchdringenden Filmkühllöchern (22) ausgebildet.

**FIG. 2****BEST AVAILABLE COPY**

EP 0 899 425 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel einer Gasturbine, gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Die Leistungssteigerung und die Verbesserung des Wirkungsgrades der heutigen Gasturbinenanlagen werden nicht zuletzt durch eine Erhöhung der Temperaturen erzielt. Da die Temperaturfestigkeit des Materials der Gasturbine jedoch begrenzt ist, müssen die den höchsten Temperaturen ausgesetzten Bauteile gekühlt werden. Dies betrifft insbesondere auch die Leit- und Laufschaufeln der Gasturbine.

[0003] Dazu sind die Turbinenschaufeln in ihrem Inneren zumindest teilweise hohl ausgebildet und weisen einen oder mehrere Kühlkanäle auf. Letztere werden von einem Kühlfluid durchflossen, wobei die Kühlwirkung durch konvektiven Wärmeübergang im Inneren des Schaufelkörpers entsteht. Eine zusätzliche Filmkühlung ist möglich, indem Teile des Kühlfluids durch Öffnungen im Schaufelkörper auf die Aussenseite der Turbinenschaufel geleitet werden. Dort bildet sich ein Kühlfluidfilm, welcher die Aussenseite der Turbinenschaufel vom heissen Arbeitsmedium der Turbine abschirmt (s. DE 36 42 789 C2). Als Kühlfluid sind aus dem Verdichter der Gasturbinenanlage oder aus einer externen Quelle stammende und unter Überdruck stehende Luft oder auch entsprechend aufbereiteter Wasserdampf bekannt.

[0004] Technisch unterschiedlich sind Dampfkühlsysteme, die den aus einem Dampfkreislauf stammenden Dampf zunächst in einem geschlossenen Kühlkreislauf halten. Der durch den konvektiven Kühlprozess erwärmte Dampf wird erneut dem Dampfkreislauf zugeführt (s. EP 06 98 723 A2). Es sind auch offene Dampfkühlsysteme bekannt, bei denen der erhitzte Dampf über Öffnungen im Schaufelkörper auf die Aussenseite der Turbinenschaufel geleitet wird. Zudem gibt es sogenannte hybride Dampfkühlsysteme mit einem geschlossenen Hauptteil und einem im Bereich der Schaufelhinterkante offenen Kühlsystem, wobei letzteres mit Dampf oder mit Luft betrieben wird.

[0005] Geschlossene Dampfkühlsysteme besitzen gegenüber offenen und auch gegenüber den genannten hybriden Dampfkühlsystemen prozessuale Vorteile. Das Einsatzspektrum solcher Systeme steigt heute insbesondere wegen ihres höheren Wirkungsgrades. Jedoch kann ein geschlossenes Dampfkühlsystem durch Eindringen von Fremdkörpern in den der Schaufeleintrittskante benachbarten Kühlkanal stark geschädigt werden. Je nach Anzahl und Grösse der sich beim Aufschlagen der Fremdkörper in der Schaufeleintrittskante bildenden Löcher, kann so viel Kühleddampf entweichen,

dass stromab der Einschlagstelle keine ausreichende Schaufelkühlung mehr stattfindet. Dadurch wird das Material überhitzt, weshalb gravierende Folgeschäden auftreten können.

Darstellung der Erfindung

[0006] Die Erfindung versucht, alle diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, Turbinenschaufeln mit erhöhter Funktionssicherheit zu schaffen.

[0007] Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass bei einer Vorrichtung gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1, der Innenraum des Schaufelkörpers im Bereich der saugseitigen Wand, der druckseitigen Wand und der Schaufelaustrittskante ein geschlossenes Kühlsystem mit zumindest einem Kühlkanal aufweist. Im Bereich der Schaufeleintrittskante ist dagegen ein separates, offenes Kühlsystem mit zumindest einem Kühlkanal und mehreren den Schaufelkörper durchdringenden Filmkühlöchern ausgebildet.

[0008] Infolge der Trennung der Schaufelkühlung in zwei getrennte Kühlsysteme, ist bei Fremdkörpereinschlägen der üblichen Grösse nur das der Schaufeleintrittskante benachbarte, offene Kühlsystem betroffen. Die mittels Dampf konvektiv erfolgende Kühlung des Hauptteils des Schaufelkörpers bleibt jedoch gesichert. Im Bereich der Schaufeleintrittskante wird der Schaufelkörper über das offene Kühlsystem ebenfalls konvektiv und zusätzlich filmgekühlt.

[0009] Besonders vorteilhaft besteht das offene Kühlsystem aus zwei parallel zueinander angeordneten sowie über mehrere Zuführöffnungen miteinander verbundenen Kühlkanälen. Bei dieser Ausbildung kann die Kühlung auch stromab einer Leckagestelle des ersten Kühlkanals durch Zufuhr des Kühlmedium aus dem zweiten Kühlkanal aufrechterhalten werden.

[0010] In einer ersten Ausgestaltungsform der Erfindung ist der der Schaufeleintrittskante benachbarte Kühlkanal zumindest annähernd kreisförmig ausgebildet. Die Filmkühlöcher sind tangential von diesem ersten Kühlkanal ausgehend angeordnet, während die Zuführöffnungen tangential vom zweiten Kühlkanal ausgehen und ebenfalls tangential in den ersten Kühlkanal münden. Dadurch wird dem Kühlmedium im ersten Kühlkanal eine rotierende Bewegung aufgeprägt. Dieser Wirbel des Kühlmediums sorgt sowohl für eine verbesserte konvektive Kühlung im Innenraum als auch für eine effektive Filmkühlung des Schaufelkörpers.

[0011] Es ist besonders zweckmässig, wenn die Filmkühlöcher zur saugseitigen Wand und zumindest annähernd in Strömungsrichtung des Arbeitsfluids der Gasturbine ausgerichtet sind. Dem mit hoher Geschwindigkeit aus den Filmkühlöchern austretenden Kühlmedium wird somit die gewünschte Strömungsrichtung bereits vorgegeben. Auf diese Weise kann eine bessere Wirkung des sich auf der saugseitigen Wand der Turbinenschaufel ausbreitenden Kühlfilmes und somit eine verbesserte Filmkühlung erreicht werden.

[0012] Bei einer zweiten Ausgestaltungsform der Erfindung besteht das geschlossene Dampfkühlsystem ebenfalls aus zumindest zwei parallel zueinander angeordneten Kühlkanälen, welche über Verbindungsöffnungen miteinander verbunden sind. Nach Einschlagen von Fremdkörpern strömt das Kühlmedium durch die Verbindungsöffnungen zu den entsprechenden Einschlagstellen, so dass sich die kühlseitig stromab liegende Kühlstrecken wieder mit Kühlmedium füllen können. Auf diese Weise kann die Funktionssicherheit der Turbinenschaufeln weiter erhöht werden.

[0013] Schliesslich wird je nach Verfügbarkeit im offenen Kühlsystem Luft oder, wie im geschlossenen Kühlsystem, Dampf als Kühlmedium eingesetzt.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0014] In der Zeichnung sind zwei Ausführungsbeispiele anhand der Laufschaufel einer Gasturbine dargestellt.

[0015] Es zeigen:

Fig. 1 einen Teillängsschnitt einer Laufschaufel mit einem geschlossenen und einem offenen Kühlsystem;

Fig. 2 einen Querschnitt durch Fig. 1 in der Ebene II-II (vergrössert);

Fig. 3 eine Darstellung analog Fig. 1, jedoch mit zwei parallelen Kühlkanälen;

Fig. 4 einen Querschnitt durch Fig. 3 in der Ebene IV-IV (vergrössert).

[0016] Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt sind von der Gasturbinenanlage beispielsweise der Verdichter, die Brennkammer und die Leitschaufeln der Gasturbine. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

[0017] Die nicht dargestellte Gasturbine besitzt mehrere Reihen von Lauf- und Leitschaufeln. In Figur 1 ist eine der Laufschaufeln 1 dargestellt. Sie besteht aus einem Schaufelfluss 2 und einem Schaufelkörper 3. Der Schaufelkörper 3 der Laufschaufel 1 weist eine saugseitige Wand 4, eine dieser gegenüberliegende, druckseitige Wand 5, eine Schaufeleintrittskante 6 und eine Schaufelaustrittskante 7 auf. Er besitzt einen hohlen Innenraum 8, welcher im Bereich der saugseitigen Wand 4, der druckseitigen Wand 5 und der Schaufelaustrittskante 7 ein geschlossenes Dampfkühlsystem 9, mit einem Kühlkanal 10 aufnimmt (Fig. 2). Dagegen ist im Bereich der Schaufeleintrittskante 6 ein offenes Kühlsystem 11 mit zwei parallel zueinander angeordneten

Kühlkanälen 14, 15 ausgebildet. Zwischen dem geschlossenen Dampfkühlsystem 9 und dem offenen Kühlsystem 11 ist eine Trennwand 16 angeordnet.

[0018] Der erste Kühlkanal 14 des offenen Kühlsystems 11 ist der Schaufeleintrittskante 6 benachbart, kreisförmig ausgebildet und mit dem zweiten Kühlkanal 15 über mehrere in einer Zwischenwand 17 angeordnete Zuführöffnungen 18 verbunden. Natürlich kann der erste Kühlkanal 14 auch andere geeignete Formen, wie beispielsweise eine annähernd kreisförmige, eine ellipsen- oder eine kartoffelförmige Ausbildung aufweisen (nicht dargestellt). Die Zwischenwand 17 ist im Bereich des Schaufelflusses 2 über ein Verbindungsstück 19 mit der saugseitigen Wand 4 verbunden, wobei im Verbindungsstück 19 mehrere Kühllöcher 20 zur lokalen Kühlung der saugseitigen Wand 4 angeordnet sind.

[0019] Die in der Zwischenwand 17 angeordneten Zuführöffnungen 18 schliessen tangential an die beiden Kühlkanäle 14, 15 an. Ausgehend vom ersten Kühlkanal 14 ist im Schaufelkörper 3, diesen durchdringend, eine Filmlochreihe 21 mit jeweils mehreren tangentialen, zur saugseitigen Wand 4 sowie annähernd in Strömungsrichtung 12 des Arbeitsfluids 13 der Gasturbine ausgerichteten Filmkühllöchern 22 ausgebildet. Im Schaufelkörper 3 können auch mehrere Filmlochreihen 21 angeordnet sein, was in Figur 3 durch eine zweite, gestrichelt dargestellte Filmlochreihe 21 angedeutet ist.

[0020] Beim Betrieb der Gasturbinenanlage wird das aus der Brennkammer stammende heisse Arbeitsfluid 13 in die Gasturbine eingeleitet und dort über die Laufschaufeln 1 entspannt. Dabei können feste Partikel in die Gasturbine eindringen und mit deren Bauteilen kollidieren. Weil das offene Kühlsystem 11 im Bereich der Schaufeleintrittskante 6 und damit in Strömungsrichtung 12 des Arbeitsfluids 13 der Gasturbine am weitesten stromauf angeordnet ist, können die im Arbeitsfluid 13 enthaltenen und auf dem Schaufelkörper 3 der Laufschaufel 1 auftreffenden Partikel fast ausschliesslich das offene Kühlsystem 11 beschädigen, während das von diesem getrennte, geschlossene Kühlsystem 9 geschützt ist. Aus diesem Grund ist die Kühlung des Hauptteils des Schaufelkörpers 3 von vornherein abgesichert.

[0021] Im offenen Kühlsystem 11 wird entweder aus dem Verdichter der Gasturbinenanlage oder aus einer externen Quelle stammende und unter Überdruck stehende Luft als Kühlmedium 23 eingesetzt. Die Luft 23 wird über einen im Schaufelfluss 2 angeordneten Zuführkanal 24 in den zweiten Kühlkanal 15 eingeleitet und dient dort der konvektiven Kühlung des Schaufelkörpers 3. Anschliessend gelangt die Luft 23 über die Zuführöffnungen 18 in den ersten Kühlkanal 14, wo sie den Schaufelkörper 3 ebenfalls konvektiv kühlt. Infolge der kreisförmigen Ausbildung des ersten Kühlkanals 14 und ihrer tangentialen Eindüsung erfährt die Luft 23 eine rotierende Bewegung, was die Kühlwirkung deutlich verbessert. Ausgehend vom ersten Kühlkanal 14 gelangt die Luft 23 durch die ebenfalls tangential angeordneten

Filmkühlöffnungen 22 auf die saugseitige Wand 4. Dort bildet sie einen dünnen Kühlfilm aus, welcher die äussere Oberfläche des Schaufelkörpers 3 vom heissen Arbeitsfluid 13 der Gasturbine abschirmt. Durch die Ausrichtung der Filmkühlöffnungen 22 wird die Luft 23 bereits annähernd in Strömungsrichtung 12 des Arbeitsfluids 13 der Gasturbine ausgedüst, was die Filmkühlung weiter verbessert.

[0022] Natürlich kann auch entsprechend aufbereiteter Wasserdampf als Kühlmedium 23 Verwendung finden. In diesem Fall werden sowohl das geschlossene als auch das offene Kühlsystem 9, 11 mit dem gleichen Kühlmedium 23, 26 betrieben. Daher ist keine getrennte Kühlmittelzufuhr erforderlich, so dass die Trennwand zwischen den beiden Kühlsystemen 9, 11 im Bereich des Schaufelfusses 2 verkürzt ausgebildet werden kann (nicht dargestellt).

[0023] Die im Arbeitsfluid 13 enthaltenen Partikel treffen mit grosser kinetischer Energie auf die Schaufeleintrittskante 6 der Laufschaufel 1 auf und können diese durchdringen. Dadurch werden in diesem Bereich Löcher 25 in den Schaufelkörper 3 geschlagen (Fig. 1, Fig. 2). Die durch die Löcher 25 entweichende Luft 23 wird durch zusätzliche Zuführung von Luft 23 aus dem zweiten Kühlkanal 15 kompensiert. Eventuell eindringendes heisses Arbeitsfluid 13 der Gasturbine wird zunächst im Zentrum der verwirbelten Luft 23 gehalten und schliesslich mit dieser verdünnt, so dass die Kühlung im offenen Kühlsystem 11 auch nach Einschlag von Partikeln aufrechterhalten werden kann.

[0024] Das beim Kühlvorgang in das Arbeitsfluid 13 der Gasturbine gelangte Kühlmedium 23 des offenen Kühlsystems 11 wird im stromab liegenden Teil der Turbinenschaufelung entspannt. Demgegenüber wird der im geschlossenen Dampfkühlsystem 9 als Kühlmedium 26 eingesetzte Dampf zurückgeführt und beispielsweise im Dampfkreislauf einer mit der Gasturbine verbundenen Dampfturbine entspannt (nicht dargestellt).

[0025] In einem zweiten Ausführungsbeispiel ist das geschlossene Dampfkühlsystem 9 als Serpentinenkühlsystem ausgebildet. Es besteht aus zwei parallel zueinander angeordneten Kühlkanälen 27, 28, die sich in Schaufellängsrichtung vom Schaufelfuss 2 bis zur Schaufelspitze 29 erstrecken. Die Kühlkanäle 27, 28 werden an der Schaufelspitze 29 in Richtung Schaufelfuss 2 der Laufschaufel 1 umgelenkt (Fig. 3). Zwischen den beiden parallelen und in gleicher Richtung vom Dampf 26 durchströmten Kühlkanälen 27, 28 sind Rippenwände 30 angeordnet, welche mehrere Verbindungsöffnungen 31 aufweisen. Natürlich ist auch zwischen den in entgegengesetzter Richtung durchströmten Kühlkanälen 28, 27 eine Rippenwand 32 angeordnet. Diese besitzt jedoch keine Verbindungsöffnungen 31 (Fig. 4). An der Schaufelspitze 29 befinden sich Austrittsöffnungen 33 für eventuelle Schmutzpartikel oder andere Fremdkörper des Kühlmediums 26.

[0026] Beim Betrieb einer solchen Gasturbinenanla-

ge können auch Löcher 25 im Bereich des geschlossenen Dampfkühlsystems 9 kompensiert werden. Kommt es zum Einschlagen von Fremdkörpern in diesem Bereich der Laufschaufel 1, so strömt das Kühlmedium aus dem jeweils nicht betroffenen Kühlkanal 27, 28 durch die Verbindungsöffnungen 31 zu den entsprechenden Löchern 25, so dass sich die kühlseitig stromab liegende Kühlstrecke wieder mit Dampf 26 füllen kann. Die das offene Kühlsystem 11 betreffenden Verfahrensabläufe sind analog den zum ersten Ausführungsbeispiel angegebenen.

[0027] Natürlich können die nicht dargestellten Laufschaufeln einer Gasturbine bezüglich ihrer Kühlung analog ausgebildet werden.

Bezugszeichenliste

[0028]

- | | |
|----|--------------------------------|
| 1 | Laufschaufel |
| 2 | Schaufelfuss |
| 3 | Schaufelkörper |
| 4 | saugseitige Wand |
| 5 | druckseitige Wand |
| 6 | Schaufeleintrittskante |
| 7 | Schaufelaustrittskante |
| 8 | hohler Innenraum, von 3 |
| 9 | Dampfkühlsystem, geschlossenes |
| 10 | Kühlkanal |
| 11 | Kühlsystem, offenes |
| 12 | Strömungsrichtung |
| 13 | Arbeitsfluid |
| 14 | Kühlkanal, erster |
| 15 | Kühlkanal, zweiter |
| 16 | Trennwand |
| 17 | Zwischenwand |
| 18 | Zuführöffnung |
| 19 | Verbindungsstück |
| 20 | Kühlloch |
| 21 | Filmlochreihe |
| 22 | Filmkühlloch |
| 23 | Kühlmedium, Luft, Wasserdampf |
| 24 | Zuführkanal |
| 25 | Loch |
| 26 | Kühlmedium, Dampf |
| 27 | Kühlkanal |
| 28 | Kühlkanal |
| 29 | Schaufelspitze |
| 30 | Rippenwand, zwischen 27 und 28 |
| 31 | Verbindungsöffnung |
| 32 | Rippenwand, zwischen 28 und 27 |
| 33 | Austrittsöffnung |

55 Patentansprüche

1. Turbinenschaufel einer Gasturbine, mit einem aus einer Schaufeleintrittskante (6), einer dieser gegen-

überliegenden Schaufelaustrittskante (7), einer saugseitigen sowie einer druckseitigen Wand (4, 5) und einem hohlen Innenraum (8) bestehenden Schaufelkörper (3), in dessen hohlen Innenraum (8) mehrere, zumindest ein Kühlmedium (23, 26) führende Kühlkanäle (10, 14, 15, 27, 28) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der Innenraum (8) im Bereich der saugseitigen Wand (4), der druckseitigen Wand (5) und der Schaufelaustrittskante (7) ein geschlossenes Dampfkühlsystem (9) mit zumindest einem Kühlkanal (10, 27, 28) aufweist,
 - b) im Bereich der Schaufeleintrittskante (6) ein offenes Kühlsystem (11) mit zumindest einem Kühlkanal (14, 15) und mehreren den Schaufelkörper (3) durchdringenden Filmkühlöchern (22) ausgebildet ist.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das offene Kühlsystem (11) aus zwei, parallel zueinander angeordneten sowie über mehrere Zuführöffnungen (18) miteinander verbundenen Kühlkanälen (14, 15) besteht.
 3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Filmkühlöcher (22) tangential vom der Schaufeleintrittskante (6) benachbarten, ersten Kühlkanal (14) ausgehend, die Zuführöffnungen (18) tangential vom zweiten Kühlkanal (15) ausgehend und in den ersten Kühlkanal (14) ebenfalls tangential mündend angeordnet sind.
 4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Kühlkanal (14) zumindest annähernd kreisförmig ausgebildet ist.
 5. Turbinenschaufel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Filmkühlöcher (22) zur saugseitigen Wand (4) und zumindest annähernd in Strömungsrichtung (12) des Arbeitsfluids (13) ausgerichtet sind.
 6. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das geschlossene Dampfkühlsystem (9) aus zumindest zwei parallel zueinander angeordneten Kühlkanälen (27, 28) besteht, welche über Verbindungsöffnungen (31) miteinander verbunden sind.
 7. Turbinenschaufel nach Anspruch 2 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Kühlmedium (23) im offenen Kühlsystem (11) Luft eingesetzt wird.
 8. Turbinenschaufel nach Anspruch 2 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Kühlmedium (23) im offenen Kühlsystem (11) Dampf eingesetzt wird.

FIG. 1

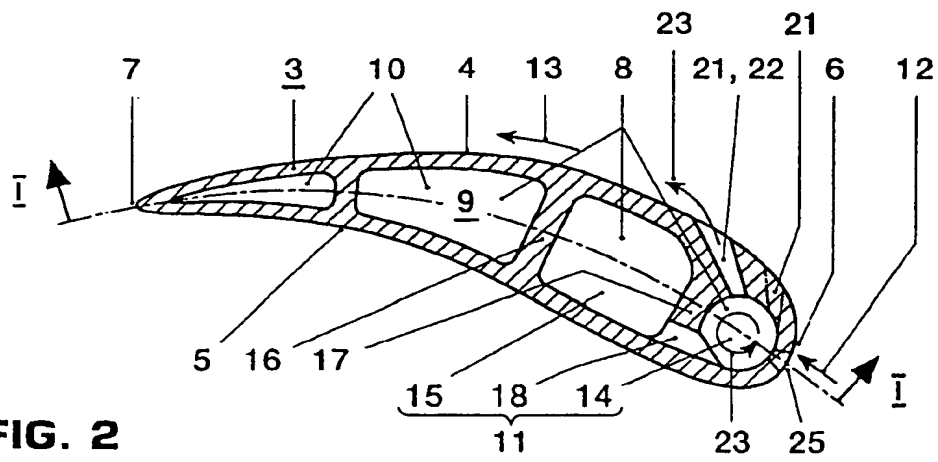
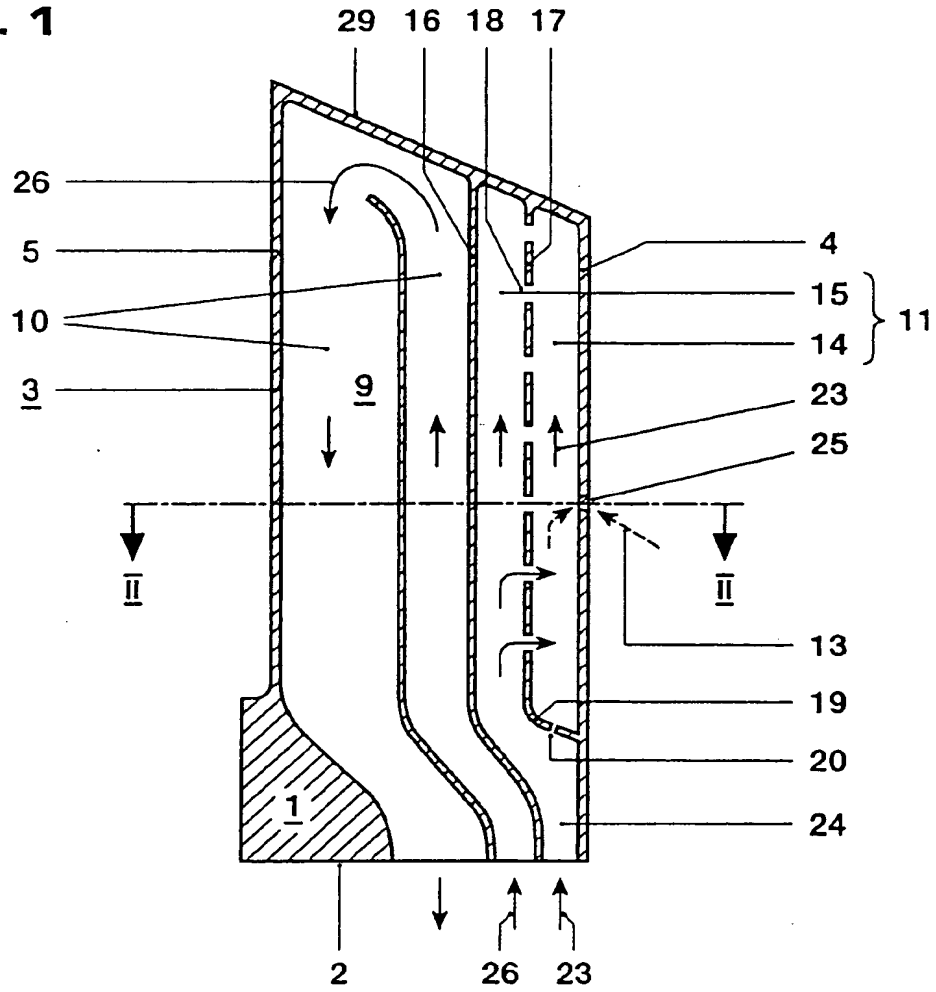


FIG. 2

FIG. 3

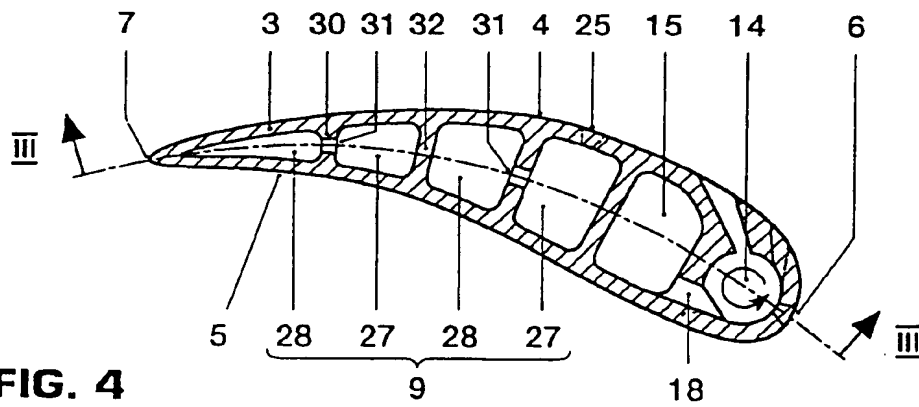
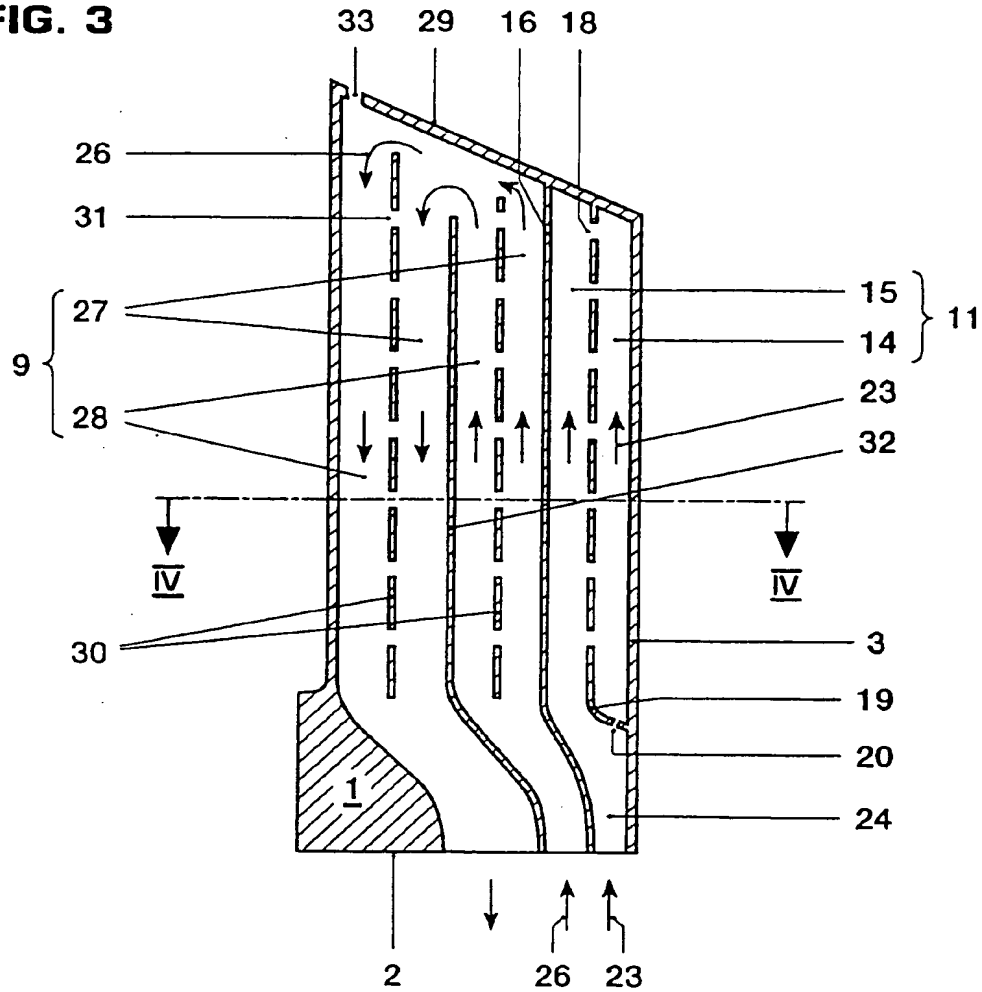


FIG. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.